



# VERKKOON KYTKETTÄVÄN AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄN SUUNNITTELU, HANKINTA JA ASENNUS



Koulutusala Tekniikan ja liikenteen ala			
Koulutusohjelma Energiatekniikan koulutusohjelma			
Työn tekijä(t) Marko Niskala			
Työn nimi Verkkoon kytkettävän aurinkosähköjärjestelmän suunnittelu, hankinta ja asennus			
Päiväys	4.2.2015	Sivumäärä/Liitteet	34/1
Ohjaaja(t) Heikki Salkinoja, Olli-Pekka Kähkönen			
Toimeksiantaja/Yhteistyökumppani(t) Pirkko Raiman, Reijo Raiman			
<p>Tiivistelmä</p> <p>Tässä opinnäytetyössä keskityttiin erilaisiin vapaa-ajan kiinteistön lisälämmitysratkaisujen ja energian tuotantovaihtoehtojen kartoittamiseen. Tavoitteena oli valita kustannustehokas järjestelmä, joka tuottaisi energiaa ja parantaisi kohteen energiataloutta. Mitoitus- ja hankintaprosessi sekä asennus olivat niin ikään tärkeitä työn osa-alueita.</p> <p>Työssä kartoitettiin kohteeseen soveltuvia lämpöpumppujärjestelmiä, aurinkolämpöjärjestelmiä sekä aurinkosähköjärjestelmiä. Lopulta valinta suoritettiin kahden erilaisen järjestelmän välillä, jotka olivat ilmalämpöpumpun ja akustollisen aurinkosähköjärjestelmän kombinaatio sekä verkkoon liitettävä aurinkosähköjärjestelmä.</p> <p>Pitkän vertailun ja harkinnan päätteeksi hankittiin kolmivaiheinen valtakunnan sähköverkon rinnalle kytkettävä aurinkosähköjärjestelmä. Järjestelmä perustuu verrattain uuteen tekniikkaan, jossa käytetään paneelien taakse asennettavia mikroinverttereitä. Järjestelmä hankittiin kotimaisia toimijoita tukien ja sen teho on 735 Wp.</p>			
Avainsanat Aurinkoenergia, Aurinkosähkö, Aurinkopaneeli, Energiatehokkuus, Sähköenergian pientuotanto, Takaisinmaksuaika			

Field of Study Technology, Communication and Transport			
Degree Programme Degree Programme in Energy Technology			
Author(s) Marko J. Niskala			
Title of Thesis On-Grid photovoltaic system, designing, procuring and installation			
Date	4.2.2015	Pages/Appendices	34/1
Supervisor(s) Heikki Salkinoja, Olli-Pekka Kähkönen			
Client Organisation /Partners Pirkko Raiman, Reijo Raiman			
<p><b>Abstract</b></p> <p>In this thesis the solutions regarding the additional heating systems and energy production in an recreational estate were mapped in order to produce independently a part of the energy consumed and to gain the energy efficiency of the estate. The designing of the system was important part of the work as well as the installation.</p> <p>Many kind of heat pump systems, solar heating systems and both Off-Grid and On-Grid photovoltaic systems were investigated before making the final decision. Finally there were two options to choose from: An On-grid photovoltaic system and the combination of an Off-Grid photovoltaic system and a heat pump.</p> <p>After a long investigation period and comparing these two different systems it was decided to choose the On-grid photovoltaic system. The system selected is a three phase solar electricity production system and it is designed to use rather new micro-inverter technology. The maximum power of the system is 735 Wp.</p>			
<p><b>Keywords</b></p> <p>Energy efficiency, Photovoltaics, Repayment period, Small-grade electricity production, Solar power, Solar electricity</p>			

## ESIPUHE

Opinnäytetyö tehtiin yksityisille toimeksiantajille Jyväskylän Leppälahdessa vuoden 2014 jälkimmäisellä puoliskolla.

Kiitän toimeksiantajiani Pirkko ja Reijo Raimania mahdollisuudesta tehdä opinnäytetyöni heille ja veljeäni Mika Niskalaa, joka oli korvaamaton apu laitteistojen kytkentään liittyvissä kysymyksissä. Haluan kiittää myös vaimoani Katri Niskalaa, vanhempiani Eeva ja Erkki Niskalaa kaikesta tuesta opintojeni aikana ja opiskelukavereitani kaikista mielenkiintoisista projekteista, joita teimme yhdessä.

## SISÄLTÖ

1	JOHDANTO.....	10
2	AURINKO ENERGIANLÄHTENÄ .....	11
3	AURINGON SÄTEILY MAAPALLOLLE .....	11
4	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT.....	11
4.1	Aurinkosähköjärjestelmän peruskomponentit .....	12
4.1.1	Aurinkopaneeli.....	12
4.1.2	Yksi- ja monikidepaneeli .....	13
4.1.3	Ohutkalvopaneeli .....	14
4.2	Off-Grid – järjestelmien muut komponentit .....	15
4.2.1	Lataussäädin .....	15
4.2.2	Energiavarasto eli akusto .....	16
4.2.3	Invertteri.....	16
4.3	On Grid -järjestelmien muut komponentit.....	17
4.3.1	Verkkoinvertteri .....	17
4.3.2	Mikroinvertteri .....	17
4.4	Muut järjestelmän komponentit.....	18
4.4.1	Verkonvalvontalaite .....	18
4.4.2	Kaapelin mitoitus tasasähköjärjestelmissä .....	18
4.4.3	Turvakytkimet ja sulakkeet.....	19
4.5	Sähköntuotantojärjestelmien kokoluokat .....	19
5	KOHTEEN TIEDOT.....	20
5.1	Perustiedot .....	20
5.2	Energian kulutus .....	20
6	AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ.....	20
6.1	Laitteistojen määrittely .....	20
6.2	Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusperusteet .....	21
6.3	Aurinkosähköjärjestelmän komponenttien valinta .....	22
6.3.1	Aurinkopaneelit.....	22
6.3.2	Muut komponentit .....	22

6.3.3 Hankinta .....	23
7 ASENNUS .....	24
7.1 Ensimmäinen päivä .....	24
7.2 Toinen päivä .....	25
7.3 Kolmas päivä .....	25
7.4 Tuotanto-olosuhteet .....	26
7.5 Järjestelmän kytkennän vaatimukset .....	27
7.6 Tuoton seuranta .....	28
8 KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA .....	30
9 KOTITALOUDEN SÄHKÖNTUOTANNON TULOVEROTUS .....	31
10 YHTEENVETO JA POHDINTA .....	31
LIITTEET: .....	35

## LUETTELO KÄYTETYISTÄ LYHENTEISTÄ

A (mm <sup>2</sup> )	Johtimen poikkipinta-ala
Absorptio	Atomien, molekyylien ja ionien imeytyminen aineeseen
DC	Direct Current
E (J)	Fotonin energia
Elektroni	Alkeishiukkanen
Energiavarasto	Sähköenergian varastointiin soveltuva akusto
Fotoni	Sähkömagneettisen vuorovaikutuksen välittäjähiukkanen
Fotoelektroni	Atomin ja fotonin absorptio tulos
I (A)	Sähkövirta
Latausohjain	Laite joka mahdollistaa aurinkosähkön varastoinnin akustoon
Litium-ioni – akusto	Litium-ioni akkukemian omaava akusto
Lyijyakku	Yleinen nimitys lyijyä sisältäville akuille
Mikroinvertteri	Vaihtosuuntaajan yksi sovellus
Monikidepaneeli	Monikiteisestä piistä valmistettu aurinkopaneeli
MPPT	Maximum Power Point Tracking
Off-Grid	Sähköverkon ulkopuolinen sähköntuotantojärjestelmä
Ohutkalvopaneeli	Ohutkalvovalmistustekniikkaan perustuva aurinkopaneeli
On-Grid	Sähköverkon rinnalle liitetty sähköntuotantojärjestelmä
PWM	Pulse Width Modulation
R (Ω)	Resistanssi
SEDAS	Solar Energy Data Acquisition System
SOC (%)	State Of Charge
U (V)	Jännite
Vaihtosuuntaaja	Laite tasasähkön muuttamiseksi vaihtosähköön
Verkonvalvontalaite	Suojaukseen liittyvä aurinkosähköjärjestelmän laite
W <sub>hp</sub> (Wh)	Haluttu aurinkopaneelien tuotto
W <sub>hkok</sub> (Wh)	Kulutus vuorokaudessa
W <sub>p</sub> (Wh)	Aurinkopaneelien nimellisteho
Yksikidepaneeli	Yksikiteisestä piistä valmistettu aurinkopaneeli
λ (m)	Aallonpituus
ρ (Ωm)	Kaapelin resistiivisyys eli ominaisresistanssi
c (m/s)	Valon nopeus tyhjiössä
f (Hz)	Taajuus
h (Js)	Planckin vakio
l (m)	Kaapelin pituus
t <sub>k</sub> (h)	Auringon paistetunnit



## YKSIKÖT

( $\Omega$ )	ohmi
( $\Omega\text{m}$ )	ohmimetri
(A)	ampeeri
(Hz)	hertsi
(J)	joule
(V)	voltti
(Wh)	wattitunti
(h)	tunti
(Js)	joulesekunti
(m)	metri
(m/s)	metriä sekunnissa

## 1 JOHDANTO

Joka ikinen tunti aurinko paistaa maapallolle antaen energiaa enemmän kuin mitä globaali energian tarve on yhteensä koko vuoden aikana. Silti näinä päivinä vain noin prosentin kymmenesosa globaalista energiantarpeesta tuotetaan aurinkoenergian avulla.

Tämän opinnäytetyön tarkoitus oli kartoittaa vapaa-ajan asuntoon soveltuvia lämmitys- ja energiantuotantoratkaisuja, mitoittaa, hankkia ja lopulta asentaa valittava järjestelmä. Merkitsevä järjestelmän valintaan vaikuttava tekijä oli se, että hyödynnettäisiin pääsääntöisesti auringosta saatavaa energiaa. Kohteena oli vuonna 2000 rakennettu ja 2007 laajennettu vapaa-ajan asunto, joka sijaitsee Jyväskylän Leppälahdessa.

Työssä kartoitettiin sekä lämpöpumppuvaihtoehtoja että aurinkolämpö- ja sähköjärjestelmiä. Kartoituksen tulos oli se, että keskittäisimme kaikki resurssit puhtaasti verkkoon liitettävän aurinkosähköjärjestelmän toteuttamiseen. Järjestelmän valintaan johtaneet syyt on luettavissa luvusta: "Laitteistojen määrittely".

## 2 AURINKO ENERGIANLÄHTEENÄ

Aikojen saatossa mielipiteet auringon rakenteesta ovat vaihdelleet paljon, mutta nykyään aurinkoa pidetään kaasupallona, jonka ulkokuoren muodostavat pääasiassa vety ja helium. Vedyn osuus auringossa on 75 % ja heliumin 23 %. Loppuosa auringon kuoresta sisältää mm. natriumia, rautaa, kalsiumia ym. alkuaineita, mutta spektrianalyysin mukaan auringossa on myös tuntemattomia kemiallisia yhdisteitä.

Atomivoimaloissa energian tuotanto perustuu fissioon. Fissiossa keskitytään periaatteessa hajottamaan raskaita atomeja sisältävän uraani U-235. Auringossa tapahtuva reaktio on päinvastainen ja sitä kutsutaan fuusioksi. Fuusiossa kaksi vetyatomin ydintä, kaksi protonia ja kaksi neutronia yhtyy heliumatomin ytimeksi. Tässä reaktiossa myös vapautuu suuri määrä energiaa. Jos näitä reaktioita verrataan toisiinsa niin ensiksi mainittu fissio vapauttaa yhdestä kilosta uraania 19 miljoonaa kWh energiaa, kun taas fuusiossa yhden helium kilon muodostaminen vedystä vapauttaa 180 miljoonaa kWh energiaa. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola ja Suokivi 2008, 10.)

## 3 AURINGONSÄTEILY MAAPALLOLLE

Yhden neliömetrin kokoiselle säteilyä kohtisuorassa olevalle alueelle tuleva säteily ilmakehän ulkopuolella on 1,35–1,39 kW. Maan pinnalla säteilyä saadaan 0,8–1,0 kW/m<sup>2</sup>. Tämä tehon alenema perustuu siihen, että ilmakehä heikentää säteiden pääsyä maan pinnalle. Ilmakehä koostuu erilaisista molekyyleistä, vesihöyrystä, pölystä ja saasteista. (Erat, Erkkilä, Nyman, Peippo, Peltola ja Suokivi 2008, 10.)

## 4 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄT

Aurinkosähköjärjestelmät voidaan jakaa kahteen pääryhmään;

1. *On-Grid* eli valtakunnan sähköverkon rinnalle asennettavat järjestelmät
2. *Off-Grid* eli osittain tai täysin omavaraiset energiavaraston omaavat järjestelmät

Kummassakin järjestelmässä yhteinen tekijä on tietysti aurinkopaneeli. Muiden komponenttien osalta järjestelmät kuitenkin eroavat melkoisesti. Tässä työssä keskitytään valtakunnan verkon rinnalle asennettavaan järjestelmään, joten akuston omaavia Off-Grid -järjestelmien komponentteja ei pintapuolista tarkastelua lukuun ottamatta käsitellä.

## 4.1 Aurinkosähköjärjestelmän peruskomponentit

### 4.1.1 Aurinkopaneeli

Saksalainen fyysikko *Heinrich Rudolf Hertz* havaitsi valosähköisen ilmiön jo vuonna 1887. Ilmiötä tutkittaessa havaittiin, että metallikappaleen pinnalta purkautuu sähkövaraus, kun siihen kohdistetaan valoa. Tätä ei kyetty tuolloin selittämään klassisen fysiikan avulla vaan se kyettiin tekemään vasta 18 vuotta havaintohetken jälkeen. Ilmiö selitettiin kvanttiteorian avulla ja sen teki suhteellisuusteorian ”isä” *Albert Einstein* vuonna 1905. Todettiin, että sähkömagneettinen säteily kykenee irrottamaan metallin pinnalta elektroneja jos säteilyn taajuus ylittää kullekin metallille ominaisen rajataajuuden. Tarkemmin sanottuna ilmiössä foton absorboituu atomiin ja sen seurauksena irtaava elektroni. Irtoava elektroni saa tässä prosessissa koko fotonin energian ja tästä johtuen sitä kutsutaan *fotoelektroniksi*. Alla oleva yhtälö (1) määrittää fotonin energian  $E$ .

$$E = h * f = \frac{h * c}{\lambda} \quad (1)$$

Muut suureet yhtälössä ovat:

$h$  = Planckin vakio

$f$  = taajuus

$\lambda$  = aallonpituus

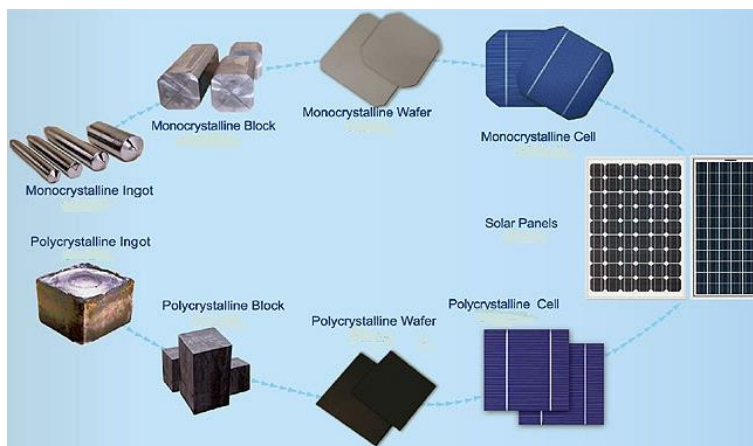
$c$  = valon nopeus tyhjiössä

Aurinkopaneelit voidaan jakaa kennotekniikan perusteella karkeasti kolmeen eri ryhmään: Yksikiteisen piin omaavat paneelit, monikiteisen piin omaavat paneelit sekä ohutkalvo-paneelit. Näiden lisäksi on olemassa muitakin tekniikoita, kuten nanopartikkeli- eli kvanttipiste kennot (Nanobittejä -sivusto 2013), mutta kuluttajamittakaavassa niitä ei tiedettävästi ole käytössä. Aurinkopaneeleista saatu sähkövirta on muodoltaan tasavirtaa (DC).

#### 4.1.2 Yksi- ja monikidepaneeli

Yksikide- eli monokidepaneeli on kennotekniikaltaan vanhin. Kokonainen paneeli koostuu useasta sarjaan kytketystä kennosta, jotka on valmistettu yksikiteisestä piistä.

Kuvan 1 mukaan kennojen valmistus alitetaan valmistuen yksikiteisestä piistä pyöreä tanko. Tämän jälkeen tankoa muotoillaan ja leikataan siten, että poikkipinta-ala muoto on reunoilta viistetty tai pyöristetty neliö. Seuraavassa vaiheessa tangosta leikataan ohuita kiek-



Kuva 1 Yksi- ja monikiteisen aurinkopaneelin valmistusvaiheet.

koja, jotka viimeistellään valmiiksi aurinkokennoiksi. Yksittäiset aurinkokennot ladotaan tasaiselle alustalle ja kennojen johtimet juotetaan toisiinsa. Periaatteessa aurinkopaneelit voitaisiin valmistaa leikkaamalla kiekkoja jo pyöreästä piitangosta ja latomalla ne kokonaiseksi aurinkopaneeliksi, mutta tällöin paneelin hukkapinta-ala olisi suurempi.

Moni- eli polykidepaneelin valmistustapa on verrattain samankaltainen yksikidepaneeliin verrattuna. Suurin ero on valmistusprosessin alkupäässä, jossa piitangon poikkipinta-ala on pyöreän sijaan neliön muotoinen ja materiaali on monikiteistä piitä. Monikiteisen piin valmistustekniikka on energiatehokkaampi ja mm. tämän vuoksi monikiteisestä piistä valmistetut paneelit ovat hankintahinnaltaan yksikiteisiä edullisempia. Hyötysuhteen osalta yksikidekennot ovat tehokkaampia kuin monikidekennot. Kuvista 2 ja 3 nähdään nämä kaksi yleisintä paneelityyppiä.



Kuva 2 Yksikidepaneeli.



Kuva 3 Monikidepaneeli.

### 4.1.3 Ohutkalvopaneeli

Ohutkalvopaneelin valmistaminen on vieläkin edullisempää kuin monikidepaneelien. Tämä johtuu siitä, että valmistuksessa tarvitaan vähemmän auringonvalon reagoivaa materiaalia. Tällä seikalla on tietysti varjopuolensa; hyötysuhde pinta-alaa kohden on jopa monikidepaneelia heikompi.

Hyötysuhteen parantamiseksi on kehitetty ohutkalvopaneeleita, joissa on eri valon aallonpituuksiin reagoivia kalvoja päällekkäin. Ohutkalvopaneelien suurin valtti on niiden ohuus sekä taipuisuus (kts. kuva 4). Tämän ominaisuuden vuoksi ohutkalvopaneeleita voidaan käyttää vaikka julkisivujen pintamateriaalina tai niitä voidaan integroida esimerkiksi sähköautojen kattoon tuottamaan energiaa.



*Kuva 4 Ohutkalvopaneeli.*

## 4.2 Off-Grid – järjestelmien muut komponentit

### 4.2.1 Lataussäädin

Lataussäädin on paneelien ohella yksi tärkeimmistä yksittäisistä akullisten aurinkojärjestelmien komponenteista. Lataussäädin mahdollistaa energian siirtämisen optimoidusti paneelilta akustoon. Säätimen tehtävä on myös suojata akustoa yllä latautumiselta.

Lataussäätimet voidaan pääsääntöisesti jakaa kahteen eri ryhmään: PWM-säätimet ja MPPT-tekniikkaan perustuvat säätimet.

PWM-säätimet perustuvat pulssin leveyden säätämiseen (*Pulse Width Modulation*) ja ovat niin sanottua vanhempaa tekniikkaa. Yleistettynä PWM-säätimet seuraavat akuston varaustilaa (*SOC, State Of Charge*) ja akuston saavutettua 80–90 % varaustilan virran syöttö alenee ja jännite pyritään pitämään vakiona.

Akuston saavutettua yllä mainitun varaustilan, jota kutsutaan myös ”*bulkkitasoksi*”, alkaa säädin katkomaan latausvirtaa. Esimerkiksi 12-voltin järjestelmissä bulkkitaso on 14,4 voltia. Akun varaustilan oltua bulkkitasossa tarpeeksi kauan, säädin aistii akun täyttymisen ja siirtyy ylläpitolataukseen. Ylläpitolatauksessa akun jännite pudotetaan bulkkitasoa alemmalle tasolle ja sisääntulovirtaa kontrolloidaan niin, että akuston jännite pysyy vakiona. (MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC 2013.)

Toinen lataussäätimien ryhmä on MPPT-säätimet. Lyhennys tulee sanoista: *Maximum Power Point Tracking*, joka tarkoittaa parhaimman tehopisteen hakua. MPPT-säätimet ovat niin sanottuja älykkäitä säätimiä ja niiden toimintaa ohjaa oma prosessori. Prosessori hoitaa sekä latauksen kontrolloinnin että akuston suojaamisen yllä latautumisen lisäksi myös syväpurkautumiselta. (MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC 2013.)

MPPT-säätimien etu on siinä, että se osaa määritellä millä jännitteellä paneeleista ulos saatava teho on milläkin hetkellä suurin. Säädin osaa ladata akustoa aina optimaalisimmalla teholla. Tämän lisäksi MPPT-säätimen suuri etu on se, että järjestelmään kytkettyjen paneelien nimellijännite voi olla suurempi kuin PWM-säädintä käytettäessä. Käytännön hyöty tulee vastaan mm. kohteissa, joissa akusto ja säädin joudutaan sijoittamaan kauas paneeleista. Korkeamman jännitteen vuoksi siirtokaapelina voidaan käyttää poikkipinta-alalta pienempää ja halvempaa kaapelia. (MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC 2013.)

#### 4.2.2 Energiavarasto eli akusto

Akustoon saadaan taltioitua paneeleilla tuotettu aurinkosähkö. Näinä päivinä yleisin akkutyyppeistä aurinkosähköjärjestelmissä on lyijyaku, mutta toki muitakin akkutyyppejä on olemassa. Viime vuosina potentiaalisiksi vaihtoehdoksi ovat muodostuneet *litium-ioni* -akkujärjestelmät.

*Litium-ioni* -akkujärjestelmät poikkeavat lyijyakuista akkukemian lisäksi yksittäisen akkukennon jännitteellä ja energiatheydellä. Lyijyakut ovat myös usein ns. valmiita paketteja, joissa tyypillisen kahden voltin akkukennot on sijoitettu kompaktiin pakettiin (vrt. auton akku), kun taas *litium-ioni* -akut kasataan erillisistä kennoista halutun kokoiseksi kokonaisuudeksi. *Litium-ioni* -kennon käyttöjännite on yleensä noin 3,2 voltia. Lisäksi *litium-ioni* -akustot tarvitsevat akunhallintajärjestelmän, jonka tehtävänä on suojata yksittäisten kennojen ylläautuminen ja syväpurkautuminen. *Litium-ioni* -akustojen huonot puolet ovat niiden korkea hinta.

#### 4.2.3 Invertteri

Akullisissa järjestelmissä sähköä voidaan jakaa kiinteistön sisällä suoraan tasasähkönä esimerkiksi valaistukseen. Monissa kohteissa on kuitenkin perusteltua jakaa sähköä myös vaihtosähköön muodossa. Jotta tasasähköstä saadaan vaihtosähköä, tarvitaan siihen vaihtosuuntaaja eli invertteri.

Inverttereitä on olemassa pääsääntöisesti kahdenlaisia; Moduloitua siniaaltoa tuottavat invertterit ja puhdasta siniaaltoa tuottavat invertterit. Ensiksi mainitut ovat hankintahinnaltaan noin puolet verrattuna puhdasta siniaaltoa tuottaviin inverttereihin ja tuottavat heikompiin siniaaltoa. Heikompiin siniaalto saattaa jopa rikkoa herkimpiä laitteita ja esimerkiksi tietokoneiden hakkurivirtalähteet eivät edes suostu toimimaan moduloitua siniaaltoa tuottavien inverttereiden avulla.

Toinen käyttökohde, jossa käytännössä huomaa näiden kahden invertterin erot on vaihtovirtamootorit, kuten vesikiertoisen lämmönjakojärjestelmän pumput. Käytettäessä näitä laitteita moduloitua siniaaltoa tuottavan invertterin avulla on moottorien sivuäänien korvin kuultavissa.



## 4.3 On Grid -järjestelmien muut komponentit

### 4.3.1 Verkkoinvertteri

Ns. perinteisessä verkon rinnalle kytkettävässä järjestelmässä aurinkopaneelit kytketään verkkoinvertteriin. Invertterin sijainti on yleensä kiinteistön sähkökeskuksen välittömässä läheisyydessä. Auringosta tuotettu tasavirta kuljetetaan kaapeleiden välityksellä verkkoinvertterille. Verkkoinvertteri tahdistaa itsensä verkosta löytyvään taajuuteen ja muuntaa paneelien tuottaman tasavirran (DC) vaihtovirraksi (AC). Tämän tekniikan huono puoli on se, että tuotettu energia siirretään paneeleista verkkoinvertterille tasavirtana ja näin ollen pienissä matalan jännitteen omaavissa järjestelmissä siirtokaapeleina saattaa joutua käyttämään paksumpia kuparikaapeleita. Tämä johtuu siitä, että pienissä järjestelmissä paneelientäntä nimellisjännite on pieni ja teho on suhteessa suuri. Toisin sanoen virta kasvaa suureksi. Etuna on puolestaan se, että invertterivaihtoehtoja on lukuisia ja esimerkiksi saarekesuojaus (saarekekäytön katkaisuaika) kyetään hallitsemaan samalla laitteella.

Saarekkeella tarkoitetaan tilannetta, jossa esim. aurinkovoimala jää syöttämään verkon osaa yksin, vaikka yhteys valtakunnan sähköverkkoon olisi katkaistu. Tällainen saareke on esim. asentajille vaarallinen tilanteissa, joissa kohde irroitetaan valtakunnan sähköverkosta, mutta kohteen oma, omavarainen järjestelmä jääkin jostain syystä tuottamaan sähköä. Yllä mainittu viiden sekunnin saarekesuojaus tarkoittaa sitä, että sähkön jakelun keskeytyessä valtakunnan verkon puolelta, kytkeytyy saarekesuojattu järjestelmä pois päältä viiden sekunnin kuluessa.

### 4.3.2 Mikroinvertteri

Hiukan uudempi ratkaisu invertterimarkkinoilla on mikroinvertteri. Tämä eroaa tavanomaisesta invertteriratkaisuista siten, että paneelien tuottama tasavirta muunnetaan vaihtovirraksi heti paneelien välittömässä läheisyydessä. Tämän ratkaisun ehdoton etu on se, että siirtokaapeleina voidaan käyttää ihan tavallista maakaapelia, joka ei ole ikinäkään niin arvokasta kuin suurien tasavirtojen siirtoon tarvittavat kuparikaapelit. Huonona puolena voidaan mainita se, että mikroinvertterin lisäksi tarvitaan erillinen laite, joka hoitaa järjestelmän saarekesuojauksen.

## 4.4 Muut järjestelmän komponentit

### 4.4.1 Verkonvalvontalaite

Käytettäessä nykyaikaista verkkoinvertteriä ei erillistä verkonvalvontalaitetta yleensä tarvita, mutta mikroinvertteriratkaisuissa tämä on tarpeellinen. Sähköturvallisuuteen viitaten laitteistossa on oltava toimiva spesifikaatioiden mukainen saarekekäytön esto ja että laitteistossa on vaadittavat suojausasetukset. Suojausasetuksiin liittyvät parametrit ovat mm. Yli- ja alijännite, yli- ja alitaajuus sekä saarekekäytön katkaisuaika. Ylijännite saa olla +10 % ja alijännite -15 % verkon nimellisestä. Ylitaajuus saa olla maksimissaan 51 Hz ja alitaajuus 48 Hz. Saarekekäytön aika saa olla korkeintaan 5 sekuntia.

Mikrotuotannon mittakaavassa järjestelmän turvallisuusvaatimuksien mukainen toiminta on käytännössä yksinkertaisinta toteuttaa siten, että laitteiston spesifikaatiot noudattavat saksalaista *VDE-AR-N-4105* -mikrotuotantonormia. Esimerkiksi Involar:ilta on saatavana kuvan 5 mukainen eGate -verkonvalvontalaite, joka täyttää kyseiset vaatimukset.



Kuva 5 eGate.

### 4.4.2 Kaapelin mitoitus tasasähköjärjestelmissä

Kaapelin mitoitus on tärkeä aurinkosähköjärjestelmän osa-alue. Jos kaapeli mitoitetaan liian pieneksi niin matkalla syntyvä tehohäviö kasvaa suureksi ja siten syö järjestelmän kokonaistehokkuutta. Mitoitus voidaan laskea perinteisillä sähkötekniikan kaavoilla. Tarvittavia suureita ovat mm. jännite ( $U$ ), kaapelin resistiivisyys ( $\rho$ ) eli ominaisresistanssi, kaapelin poikkipinta-ala ( $A$ ) ja kaapelin pituus ( $l$ ). Resistiivisyyden, kaapelin poikkipinta-alan ja pituuden avulla voidaan määrittää kaapelin vastus  $R$  käyttäen yhtälöä 2:

$$R = \frac{\rho * l}{A} \quad (2)$$

Tämän jälkeen voidaan määrittää matkalla syntyvä tehohäviö yhtälön 3 avulla:

$$P = \frac{U^2}{R} \quad (3)$$

Tehohäviö pitäisi olla pienempi kuin 10 %, joidenkin mielestä jopa alle 5 %. Mielenpitoita on monenlaisia, mutta jos mietitään kuinka usein järjestelmän maksimiteho saavutetaan niin onko mitään merkitystä sillä häviääkö kyseisellä hetkellä viisi vai kymmenen prosenttia tuotetusta energiasta?

Kaapelin mitoitukseen löytyy myös internetistä useita käyttökelpoisia laskureita, jotka riittävät kirjoittajan mielestä mainiosti tämän tasoiseen mitoitukseen. Laskurit toimivat DC - järjestelmissä, joiden jännite on alle suojajännitteen ( $<120\text{ V}$ ).

Kuvista 6 Ja 7 nähdään  $10\text{ mm}^2$  ja  $16\text{ mm}^2$  -kaapelin häviöt, jotka laskettiin Adita Oy:n kaapelilaskurin avulla (Adita kaapelilaskuri). On huomattava, että kaapelin etäisyys kerrotaan kahdella, koska se on todellinen virtaa kuljettavan kaapelin pituus.

Järjestelmän nimellisjännite (V)	29.99
Kuorman nimellisteho (W)	245
Käytetty johdinpaksuus (mm <sup>2</sup> )	10,0 ▾
Etäisyys akusta (m)	54
	<b>LASKE</b>
Jännitehäviö	1.43 V
Kuorman todellinen teho	222 W
Johtimien lämpöhäviö	11.11 W
Tehohäviö (tavoite max 10%)	9.3 %

Kuva 6  $10\text{ mm}^2$  -kaapeli häviöt.

Järjestelmän nimellisjännite (V)	29.99
Kuorman nimellisteho (W)	245
Käytetty johdinpaksuus (mm <sup>2</sup> )	16,0 ▾
Etäisyys akusta (m)	54
	<b>LASKE</b>
Jännitehäviö	0.91 V
Kuorman todellinen teho	230 W
Johtimien lämpöhäviö	7.2 W
Tehohäviö (tavoite max 10%)	5.97 %

Kuva 7  $16\text{ mm}^2$  -kaapelin häviöt.

#### 4.4.3 Turvakytkimet ja sulakkeet

Vaatimusten mukaisessa järjestelmässä on oltava näkyvällä ja helposti lähestyttävällä paikalla erotuskytkin, josta järjestelmän poiskytkeminen on tarpeen tullen mahdollista. Lisäksi järjestelmän kytkemiseksi sähkökeskukseen tarvitaan vielä sopivan kokoiset sulakkeet, joiden koko määräytyy järjestelmän tehon perusteella.

#### 4.5 Sähköntuotantojärjestelmien kokoluokat

**Mikrotuotanto** tarkoittaa korkeintaan 50 kVA:n (kilovoltiampeeri) näennäistehon omaavaa tuotantolaitteistoa.

**Pientuotanto** tarkoittaa sähköntuotantoa, joka on näennäisteholtaan 50 kVA:n ja 2 MVA:n (megavoltiampeeri) välillä.

## 5 KOHTEEN TIEDOT

### 5.1 Perustiedot

Kohde on ympäri vuoden asuttava vapaa-ajan asunto ja se sijaitsee Jyväskylän Leppälahdessa. Kiinteistö on rakennettu vuonna 2000 ja laajennettu vuonna 2007, jolloin pihapiiriin valmistui myös autotalli. Kiinteistön pääasiallinen lämmitysmuoto kylmänä kautena on puu, mutta vuonna 2008 otettiin käyttöön lämpöpumppu. Huoneista löytyy myös sähköpattereita.

### 5.2 Energian kulutus

Energian kulutusta määritellessä olivat sähkölaitoksen tarjoamat palvelut hyödyllisiä. Kohteen kulutus selvitettiin Suur-Savon Sähkön verkkopalvelun avulla. Kiinteistö on otettu etäluennan piiriin kesällä 2012, joten vertailukelpoisia kulutustietoja tarkasteltiin vuoden 2013 osalta. Vuosikulutus oli noin 6600 kWh ja kesäajan kulutus (touko-elokuu) 791 kWh.

## 6 AURINKOSÄHKÖJÄRJESTELMÄ

### 6.1 Laitteistojen määrittely

Tarkoitus oli kartoittaa laitteistoja sekä huonetilojen lämmittämiseen, että pienimuotoiseen energiatuotantoon. Yhtenä lämmitysvaihtoehtona kartoitettiin aurinkolämpöjärjestelmiä. Tämä vaihtoehto kuitenkin hylättiin alkukartoituksen jälkeen, koska kiinteistössä ei ole vesikiertoista lämmönjakoa. Lisäksi kiinteistön katolle ei olisi ollut kannattavaa asentaa aurinkokeräimiä, koska katon lappeet eivät ole optimaaliseen ilmansuuntaan. Autotallin lape on miltei suoraan etelään, mutta lämpöputkien vetäminen maan alla olisi ollut ongelmallista.

Yhtenä kirjoittajan mielestä hyvänä vaihtoehtona olisi ollut lämpöpumpun ja yksivaiheisen akullisen aurinkosähköjärjestelmän kombinaatio. Tätä vaihtoehtoa mietittiinkin pitkään, mutta lopulta toimeksiantajani tulivat siihen tulokseen, ettei akulliselle järjestelmälle ollut tarvetta ja ajatus toisesta lämpöpumpusta ei lopulta miellyttänyt.

Päädyttiin ratkaisuun, jossa kiinteistöön mitoitettiin kolmivaiheinen aurinkosähköjärjestelmä.

Mitoitusperusteena oli omavaraisuus kesäkautena. Täten lämmityskaudella voitaisiin käyttää enemmän energiaa kiinteistön käytössä olevia lämmitysratkaisuja varten.

## 6.2 Aurinkosähköjärjestelmän mitoitusperusteet

Aurinkosähköjärjestelmän mitoitus lähtee aina kulutuksesta ja käyttöasteesta. Aurinkosähköjärjestelmä mitoitetaan yleensä siten, että aurinkopaneeliston energian tuotto on 1,1–1,5-kertainen kulutukseen verrattuna (Erat, Erkkilä, Löfgren, Nyman, Peltola ja Suokivi 2001, 157). Tässä laskentamenetelmässä lähdetään liikkeelle yhtälön (4) mukaan:

$$W_{hp} = W_{hkok} * 1,1 \quad (4)$$

jossa  $W_{hp}$  on haluttu aurinkopaneeliston tuotto ja  $W_{hkok}$  on kulutus vuorokaudessa käyttöasteen määrittelemänä ajanjaksona. Kerroin, joksi tässä tapauksessa on valittu 1,1 voidaan valita väliltä 1,1–1,5 riippuen siitä, mitä pidetään tärkeänä. Valittaessa kerroin 1,1 saadaan kustannukset minimoitua, kun taas kertoimella 1,5 saadaan suurempi tuotto.

Kohteen vuosikulutus mainittiin edellisessä kappaleessa. Vuosikulutusta emme kuitenkaan tarvitse, koska sähköomavaraisuus kesäkautena oli tavoitteena. Määritettiin siis kulutus aikavälille *toukokuu–elokuu*. Tuona ajanjaksona sähköä kului 791 kWh, joka tarkoittaa 6,43 kWh / päivä. Eli täten  $W_{hkok} = 6430 \text{ Wh}$ .

Yllä mainittuun kaavaan perustuen halutuksi tuotoksi saatiin:  $W_{hp} = 6430 \text{ Wh} * 1,1 = 7073 \text{ Wh}$ . Aurinkopaneeliston nimellistehon  $W_p$  määrittämiseksi tarvittiin yhtälöä 5:

$$W_p = \frac{W_{hp}}{\eta_{sys} * t_k} \quad (5)$$

jossa  $t_k$  on auringon paistetuntien määrä ja  $\eta_{sys}$  on järjestelmähyötysuhde.

Paistetuntien määrä touko-elokuulle haettiin kuukausikohtaisista tilastoista ja niistä määritettiin keskiarvo yhdelle päivälle (Ilmatieteen Laitos 2012, 69).

Näihin perustuen aurinkopaneelin optimaaliseksi nimellistehoksi saatiin:

$$W_p = 7073 \text{ Wh} / (0,97 * 7,85 \text{ h}) = \underline{929 \text{ W}}$$

## 6.3 Aurinkosähköjärjestelmän komponenttien valinta

### 6.3.1 Aurinkopaneelit

Järjestelmän valinnassa päädyttiin kolmivaiheiseen ratkaisuun, jotta kiinteistön kaikki sähkölaitteet saataisiin kesä-aikana aurinkosähkön piiriin. Edellisessä kappaleessa määritetty optimaalinen järjestelmän teho oli kuitenkin haastava saada toteutettua kolmivaiheisena, koska noin 300 Wp -paneelit ovat harvassa ja tämän lisäksi ne ovat suhteessa kalliimpia kuin noin 50 wattia pienemmät. Tästä johtuen järjestelmän paneeleiksi valittiin teholtaan 245 Wp paneelit. Pienitehoisimmilla paneeleilla varmistettiin myös se, että valtakunnan verkkoon ”karkaava” sähkö olisi mahdollisimman vähäistä.

Aurinkopaneelien valintaan perustuen, järjestelmän todelliseksi nimellistehoksi muodostui 735 Wp.

### 6.3.2 Muut komponentit

Järjestelmän mitoituksen ohella mietittiin vaihtoehtoja lopullisen järjestelmän toteuttamiseen. Järjestelmä oli siis mahdollista toteuttaa joko perinteisemmän ja yleisesti käytetyn verkkoinvertterin tai mikroinverttereiden avulla.

Paneelit asennettaisiin autotallin katolle, joka tarkoittaisi sitä että kiinteistön sähkökeskuskelle olisi matkaa noin 27 metriä. Verkkoinvertterillä toteutettaessa energian siirto toteutettaisiin DC:nä ja matkalla häviäisi energiaa 5,97–9,30 % riippuen siitä käytettäisinkö 16 mm<sup>2</sup> vai 10 mm<sup>2</sup> – kaapelia (kts. kappale 4.4.2).

Tästä johtuen päädyttiin mikroinverttereillä toteutettuun järjestelmään. Kyseisessä järjestelmässä sähkönsiirto paneeleilta tapahtuu 230 V vaihtovirtana (AC) ja kaapeliksi riittää 2,5 mm<sup>2</sup> -kaapeli.

Investoitiin Involar-nimisen valmistajan järjestelmään, joka koostuu paneelien lisäksi mikroinverttereistä, 2,5 mm<sup>2</sup> MCMK-kaapeleista ja eGate-verkonvalvontalaitteista. Kolmivaihejärjestelmään tarvittiin kaikkia edellä mainittuja kolmin kappalein. Tämän lisäksi tarvittiin erotuskytkin, 16 A sulakkeet jokaiselle vaiheelle, aurinkopaneeliston maadoituskaapeli sekä läpivienti kaapeleiden tuomiseksi katon läpi kohti sähkökeskusta.

Näiden lisäksi tarvittiin aurinkopaneelien asennustelineet.

### 6.3.3 Hankinta

Tuotepaketti hankittiin kokonaisuudessaan aurinkosähkö.net:n valikoimasta kolme viikkoa kestäneiden hintaneuvottelujen päätteeksi. Järjestelmän hinta oli kilpailukykyinen. Harkitsimme järjestelmän tilaamista myös Euroopasta, mutta kuljetuskustannuksista johtuen pienen mikrotuotantojärjestelmän kustannukset olisivat nousseet liian korkeaksi. Järjestelmän hankkiminen yhdestä paikasta tuo hankintaprosessiin myös helpotuksia ja kirjoittajan mielestä on ensiarvoisen tärkeää tukea kotimaisia toimijoita.

Järjestelmän hankintahinta oli 3000 euroa. Toimitus ei sisältänyt maakaapelia, maadoituskaapelia eikä sähkökeskukseen tarvittavia sulakkeita. Näin ollen voimalan kokonaishinnaksi tarvikkeineen muodostui 3300 euroa. Kirjoittajan työpanokselle ei laskettu hintaa.

## 7 ASENNUS

### 7.1 Ensimmäinen päivä

Järjestelmän asennus aloitettiin telineen asentamisesta autotallin katolle. Asennusohjeiden saattelemana telineiden asennus sujui ongelmitta. Telineen toimitussisällössä on yhteensä kuusi kuvan 8 mukaista saranakomponenttia, jotka asennettiin huopakattoon ruuvein ja tiivistein. Valmis telinekokoontelo ennen paneelien asennusta nähdään kuvassa 9.



Kuva 8 Telineen saranakomponentti.



Kuva 9 Telineet asennettuina.

Paneelien asennus telineisiin oli niin ikään ongelmaton...



Kuva 10 Paneelien mallaus telineisiin.



Kuva 11 Paneelit telineisiin asennettuina.

Järjestelmään kuului kuvien 12 ja 13 mukaiset liittimet, jotka soveltuvat turvalliseen järjestelmän kytkemiseen sekä käyttämiseen. Liittimet asennettiin valmiiksi kaapeleihin ensimmäisen päivän päätteeksi.



Kuva 11 Johdon kiinnitys liittimeen.



Kuva 13 Liitin valmiina.



## 7.2 Toinen päivä

Seuraavaksi asennettiin mikroinvertterit ja verkonsuojalaitteet, sekä kaapeleiden läpivienti. Toisen työpäivän tehtävät ovat nähtävissä kuvissa 14–17.



Kuva 14 Mikroinvertteri.



Kuva 15 Mikroinvertterit asennettuna.



Kuva 16 eGate:t keskuksen vieressä.



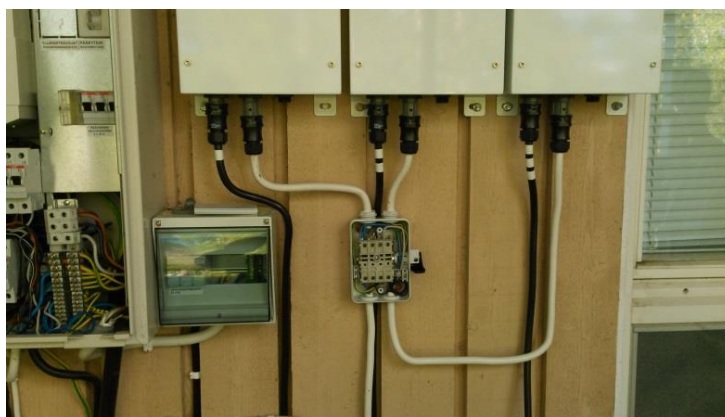
Kuva 17 Katon läpivienti.

## 7.3 Kolmas päivä

Kolmantena asennuspäivänä siirtokaapeli kaivettiin maahan ja tehtiin kytkennät viittä vaille valmiiksi. Kolmannen työpäivän tehtävät nähdään kuvissa 18 ja 19.



Kuva 18 Kaapelin upotus.



Kuva 19 Kytkenät.

## 7.4 Tuotanto-olosuhteet

Kuvasta 20 nähdään miltä lopullinen asennettu järjestelmä kohteessa näyttää.



*Kuva 20 Kohteen järjestelmä.*

Alla olevassa kuvassa (Kuva 21) on näkymä aurinkopaneelien rintamasuuntaan.



*Kuva 21 Paneelien rintamasuunta.*

Kuten kuvasta näkyy olosuhteet ovat varsin suotuisat aurinkosähkön tuotamiseen, kunhan pari puuta rannan tuntumasta kaadetaan. Rintamasuunta on mieltei optimaalinen, kaakon ja etelän väliin. Muokattu asemapiirros nähdään kuvasta 22. Todellisuudessa autotalli sijaitsee kuvan punaisen nuolen osoittamassa paikassa.

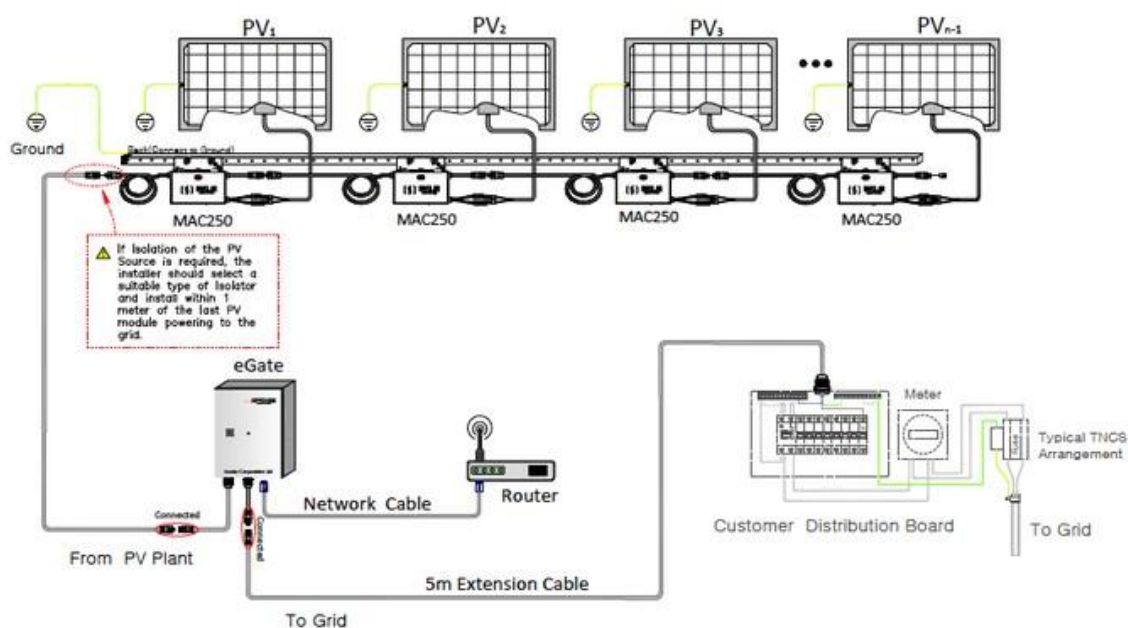


*Kuva 22 Muokattu asemapiirros.*

## 7.5 Järjestelmän kytkennän vaatimukset

Ennen kuin järjestelmä saatiin kytketyksi valtakunnan sähköverkon rinnalle, hankittiin kytkentäluva verkkoyhtiöltä. Tätä edelsi pitkä sopimusneuvottelu, jossa kirjoittaja toimi valtuutettuna toimeksiantajien ja sekä sähkö- että verkkoyhtiön välillä. Tehtiin siis sopimus verkkoyhtiön kanssa mikrotuotannon kytkemiseksi valtakunnan sähköverkon rinnalle ja sopimus verkkoon syötettävän sähköenergian korvauksen suuruudesta sähköenergian toimittajan (joka on siis aurinkosähkön ostaja) kanssa.

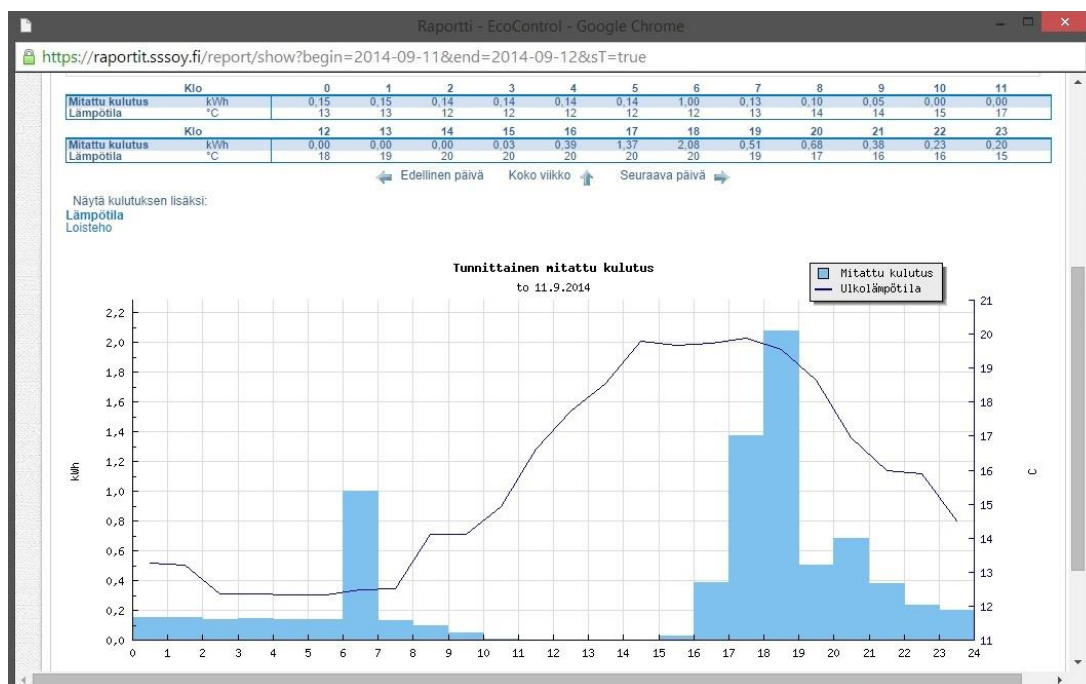
Järjestelmä saatiin käyttöön 9.9.2014. Kytkenän peruseriaate on nähtävissä alla olevasta kuvasta 23, joka tosin kuvaa yksivaiheista järjestelmää (Involar eGate, User Operation Manual 2010, 14). Asennettu kolmivaiheinen järjestelmä eroaa kytkennältään siinä, että alla olevan kuvan kaikkia komponentteja on käytännössä kolmin kappalein paitsi paneeleita yksi kussakin vaiheessa.



Kuva 23 Kytkenän peruseriaate.

Järjestelmässä on myös internet -pohjainen tuoton seuranta, mutta se kytkettiin myöhemmin. Seuraavan sivun kuvasta (Kuva 24) nähdään 11.9.2014 mitattu kiinteistön sähkönkulutus. Diagrammi on tulostettu Suur-Savon Sähkön palvelusta ja kuvasta nähdään, että klo 10 ja klo 15 välillä kiinteistön verkosta ottama sähköenergia oli 0 kWh.





Kuva 24 Kiinteistön sähkönkulutus 11.9.2014.

## 7.6 Tuoton seuranta

Tuotetun energian seurantaan Involar tarjoaa omaa palvelua, joka sisältyy investoitujen laitteiden ostohintaan. Palvelun nimi on *SEDAS (Solar Energy Data Acquisition System)* ja se toimii siten, että jokainen verkonsuojalaite (eGate) kytketään reitittimeen ja luodaan käyttäjätili Involar -nettisivujen kautta. Tilille määritetään käytetyt laitteet ja niiden määrittelyn jälkeen tuottoa voidaan seurata internet-sivujen kautta. Valitettavasti tämä ei sujunut ongelmitta;

Seuranta saatiin käyttöön 19.9.2014, mutta jo muutaman päivän kuluttua tuottotietojen seuraaminen ei ollut enää mahdollista. Selvisi, että ongelma on palvelun tarjoajan päässä. Involarilla on käytössään serverit kahdessa paikassa; Portugalissa ja Singaporessa. Jostain syystä kyseisen järjestelmän tiedot olivat tallentuneet kummallekin serverille ja tästä johtuen näytti siltä, ettei järjestelmä tuota lainkaan energiaa. Tiedot poistettiin toiselta serveriltä palvelun tarjoajan toimesta 6.10.2014 siinä uskossa, että seuranta saataisiin toimimaan, mutta toisin kävi ja tili katosi kokonaan. Involar oli pahoillaan tapahtuneesta ja he tekivät puolestamme tilin uudestaan 8.10.2014, mutta kaikki siihen mennessä tallennetut tuotto-tiedot katosivat.

8.10.2014–28.11.2014 välisenä aikana tuotettua sähköä on kertynyt 20,51 kWh. Lokakuun osuus on 14,72 kWh. Kuvat 25 ja 26 ovat SEDAS -palvelusta.



Kuva 25 SEDAS, 30 päivän näkymä (marraskuu 2014).



Kuva 26 SEDAS, 12 kk näkymä.

## 8 KANNATTAVUUS JA TAKAISINMAKSUAIKA

Omavaraisissa tai osittain omavaraisissa järjestelmissä ensimmäisten kysymysten joukossa esiin tulee usein järjestelmän takaisinmaksuaika. Takaisinmaksuaikaa selvitettiin seuraavin perustein:

Vuotuisen sähkön hinnan nousun määrittämiseksi tutkittiin Suur-Savon Sähkön myymän sähkönenergian hintakehitystä vuosien 1997 ja 2014 väliseltä ajalta. Tuona aikana sähkön hinta on noussut keskimäärin 3,41 %/a (Energiamarkkinavirasto).

Toinen huomioitava tekijä on rahan arvon muuttuminen. Rahan arvon keskimääräinen muutos on noin +2 %/a (Tilastokeskus). Näiden lisäksi huomioitiin aurinkojärjestelmän tuoton alenemiskerroin, joka määräytyi valmistajan ilmoittamasta tuottotakuusta; Aurinkopaneelille luvataan 25 v / 80 % tuottotakuu, joka tarkoittaa sitä, että 25 vuoden kuluttua aurinkopaneeleista saadaan tuottoa vähintään 80 % siitä mitä sen nimellisteho on. Näillä perusteilla määritettiin tuoton alenemiskertoimeksi 0,8 %.

Yllä mainittujen tekijöiden lisäksi verotuksessa voidaan vähentää investointikustannuksia vuosittain poistojen muodossa. Poiston suuruus on ensimmäisenä vuotena maksimissaan 25 % myydystä sähköstä saatua vastiketta vastaava osuus. Poistosta ylijäävä osa voidaan siirtää seuraavalle vuodelle ja taas vähentää 25 % jäljellä olevasta määrästä. Tässä tapauksessa poistoista ei ole juuri taloudellista hyötyä, koska järjestelmä on mitoitettu siten, että verkkoon karkaisi mahdollisimman vähän sähköä.

Kun vuotuiseksi sähköntuotoksi oletettiin 650 kWh/a, niin yllä mainittuihin tietoihin perustuen takaisinmaksuajaksi muodostui noin 21 vuotta. Yleisen nyrkkisäännön perusteella voidaan ajatella 735 Wp järjestelmän tuottavan vuositasolla 735 kWh sähköenergiaa. Jos sähköä tuotettaisiin näin optimaalisesti, olisi järjestelmän takaisinmaksu aika melkein kaksi vuotta lyhempi.

Liitteen 1 taulukosta 2 nähdään vuotuiset tuotot rahaan suhteutettuna, kun vuotuiseksi tuotoksi arvioidaan 735 kWh/a. Taulukosta voidaan päätellä myös investointikustannusten kuoleentuminen. Lähtötilanteen sähkön hinnaksi määritettiin K2-tyyppikäyttäjän vuoden 2014 keskiarvo, johon sisältyi energian hinta, sähkön siirron hinta ja sähkön siirtohinnan vero (Energiamarkkinavirasto). K2-tyyppikäyttäjän sähköliittymän ja sähkön kulutuksen tiedot ovat energiamarkkinaviraston mukaan: 3\*25 A / 5000 kWh/a.

## 9 KOTITALOUDEN SÄHKÖNTUOTANNON TULOVEROTUS

Sähkön tuottaminen kotitalouden omaan käyttöön on verovapaata. Luonnollinen henkilö (verovelvollinen) voi hankkia käyttöönsä aurinkosähköjärjestelmän, tuulivoimalan tai muun vastaavan pienimuotoisen sähköenergiaa tuottavan laitteiston, jolla hän tuottaa sähköä omiin tarpeisiinsa. Tällaisesta tuotannosta ei muodostu veronalaista tuloa. (Verohallinto 2014.)

Kotitalous saattaa myös myydä osan tuottamastaan sähköstä sähköyhtiölle. Tällaisessa tilanteessa sähkön myynnistä saatu tulo on yleensä tuotantokustannuksiin suhteutettuna niin vähäistä, että siitä ei jää verotettavaa tuloa. (Verohallinto 2014.)

Yllä mainitut asiat koskevat kotitalouden harjoittaman pienimuotoisen sähköntuotannon verotusta. Pienimuotoisella sähköntuotannolla tarkoitetaan luonnollisen henkilön enintään 50 kilovolttiampeerin nimellistehoisella sähköntuotantolaitteistolla harjoittamaa sähköntuotantoa ensisijaisesti kotitalouden omaan käyttöön. Kyse on tällöin niin sanotusta mikrotuotannosta. (Verohallinto 2014.)

## 10 YHTEENVETO JA POHDINTA

Aurinkosähkön tuottaminen on arvolähtöistä toimintaa, koska järjestelmän takaisinmaksuaika on verrattain pitkä. Suuremmissa, kustannustehokkaissa järjestelmissä takaisinmaksuaika on pienempi. Jos ajatuksena on tuottaa aurinkosähköä reilusti yli oman tarpeen, voidaan verotuksen poistoilla vaikuttaa takaisinmaksuaikaan merkittävästi, koska vuositasolla myydystä sähköstä jopa 25 % on vähennyskelpoista.

On yleisesti tiedossa, että aurinkopaneelivalmistajien ilmoittamat nimellistehot eivät juuri kesä-aikana toteudu, koska paneelin pintalämpötilan noustessa tuotto pienenee merkittävästi. Kirjoittaja onkin pitkään pohtinut, miten paneelien tehokkuuden käy, kun sähköä tuotetaan kirkkaina, mutta kylminä kevättalven aurinkopäivinä. Tähän pohdintaan saatiin tammikuun 17. päivä kuvan 27 mukaista esimakua, kun paneelien päältä poistettiin lumi-kerros auringon paistaessa. Havaittiin, että päivän aikana sähköä saatiin tuotettua SEDAS – seurannan mukaan liki 2 kWh. Huipputeho kyseisenä päivänä oli seurannan mukaan noin 780 W! Tämä on erittäin mielenkiintoista, koska järjestelmä nimellisteho on 735 Wp. Ulkolämpötila oli tuolloin noin +1 -astetta. Jännityksellä odotetaan paljastuuko tuotto mittausvirheeksi vai onko se todellista.

Uusiutuva energia kaikissa muodoissaan on jo vuosia ollut kirjoittajan suuri mielenkiinnon kohde, joten työn aihe oli erittäin mielenkiintoinen ja ennen kaikkea ajankohtainen. Työ antoi kirjoittajalle paljon tulevaisuutta ajatellen. Aurinkojärjestelmien kartoittamiseen, mitoittamiseen ja itse asennustyöhön on nyt pohjatyö tehtynä. Tästä on hyvä jatkaa.



Kuva 27 Tuotanto 17.1.2015.



## LÄHTEET JA TUOTETUT AINEISTOT

Adita – kaapelilaskuri. www-sivu [Viitattu 28.1.2015]. Saatavissa:  
<http://www.adita.fi/alasivut/kaapelilaskuri/>

Energiamarkkinavirasto. Sähköenergian ja siirron hinnan kehitys 1997 - 2014. Excel-taulukko [Viitattu 28.1.2015]. Saatavissa:  
<https://www.sahkonhinta.fi/tilastot/Hintojenkehitys.xlsx>

ERAT, Bruno, ERKKILÄ, Vesa, LÖFGREN, Timo, NYMAN, Christer, PELTOLA, Seppo & SUOKIVI, Hannu 2001. Aurinko-opas, Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Helsinki

ERAT, Bruno, ERKKILÄ, Vesa, NYMAN, Christer, PEIPPO, Kimmo, PELTOLA, Seppo ja SUOKIVI, Hannu 2008. Aurinko-opas, Aurinkoenergiaa rakennuksiin. Porvoo

Ilmatieteen laitos 2012. Tilastoja Suomen ilmastosta 1981 - 2010. pdf-dokumentti [Viitattu 27.1.2015]. Saatavissa:  
[https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja\\_Suomen\\_ilmastosta\\_1981\\_2010.pdf?sequence=4](https://helda.helsinki.fi/bitstream/handle/10138/35880/Tilastoja_Suomen_ilmastosta_1981_2010.pdf?sequence=4)

Involar eGate, User Operation Manual 2010. pdf-dokumentti [Viitattu 28.1.2015]. Saatavissa:  
<http://www.involar.com/file/usermanualegate.PDF>

Nanobittejä – sivusto 2013. www-sivu [Viitattu 26.1.2015]. Saatavissa:  
<http://www.nanobitteja.fi/22>

Kaikki tieto aurinkopaneelista. www-sivu [Viitattu 26.1.2015]. Saatavissa:  
<http://www.aurinkopaneeli.org/aurinkopaneelin-toimintaperiaate/>

MPPT ja PWM Lataussäädin-ABC 2013. www-sivu [Viitattu 25.1.2015]. Saatavissa:  
<http://www.reps.fi/datasheetsandmanuals/REPS-MPPT-lataussaadin-ABC.pdf>

National Geographic Solar energy. www-sivu [Viitattu 28.1.2015]. Saatavissa:  
<http://environment.nationalgeographic.com/environment/global-warming/solar-power-profile/>

Tilastokeskus. Rahanarvonkerroin. www-sivu [Viitattu 28.1.2015]. Saatavissa:  
[http://www.stat.fi/til/khi/2012/khi\\_2012\\_2013-01-15\\_tau\\_001.html](http://www.stat.fi/til/khi/2012/khi_2012_2013-01-15_tau_001.html)

Verohallinto 2014. Kotitalouden sähköntuotannon tuloverotus. www-sivu [Viitattu 28.1.2015]. Saatavissa:

<http://www.vero.fi/fi->

[FI/Syventavat\\_veroohjeet/Henkiloasiakkaan\\_tuloverotus/Ansiotulot/Kotitalouden\\_sahkontuotannon\\_tuloverotus%2834079%29](http://www.vero.fi/fi-Syventavat_veroohjeet/Henkiloasiakkaan_tuloverotus/Ansiotulot/Kotitalouden_sahkontuotannon_tuloverotus%2834079%29)

## LIITE 1: TAKAISINMAKSUAIKA JA JÄRJESTELMÄN TUOTTO

Taulukko 1. Vuotuinen energian tuotanto ja takaisinmaksuaika

	Oletettu vuosituotto	735 kWh/a			
	Energian hinta alussa	15,18 snt/kWh			
	Vuoden tuotto	111,57 €			
	Tuoton alenemiskerroin/a	0,80 %			
	Rahan arvon muutos/a	2,00 %			
	Sähkön hinnan nousukerroin/a	3,41 %			
vuode t	vuosiluku	sähkön hinta (snt/kWh)	Tuotto (kWh)	tuotto (€)	summa (€)
1	2015	15,18	735,00	111,57	111,57
2	2016	16,00	729,17	116,67	228,25
3	2017	16,87	723,38	122,01	350,25
4	2018	17,78	717,64	127,58	477,83
5	2019	18,74	711,94	133,41	611,25
6	2020	19,75	706,29	139,51	750,76
7	2021	20,82	700,69	145,89	896,65
8	2022	21,95	695,13	152,56	1049,21
9	2023	23,13	689,61	159,53	1208,74
10	2024	24,38	684,14	166,82	1375,56
11	2025	25,70	678,71	174,45	1550,01
12	2026	27,09	673,32	182,42	1732,43
13	2027	28,56	667,98	190,76	1923,19
14	2028	30,10	662,67	199,48	2122,67
15	2029	31,73	657,42	208,60	2331,26
16	2030	33,45	652,20	218,13	2549,39
17	2031	35,25	647,02	228,10	2777,50
18	2032	37,16	641,89	238,53	3016,02
19	2033	39,17	636,79	249,43	3265,45
20	2034	41,29	631,74	260,83	3526,28
21	2035	43,52	626,72	272,75	3799,04
22	2036	45,87	621,75	285,22	4084,26
23	2037	48,35	616,82	298,26	4382,52
24	2038	50,97	611,92	311,89	4694,41
25	2039	53,73	607,06	326,15	5020,55
26	2040	56,63	602,25	341,05	5361,61
27	2041	59,69	597,47	356,64	5718,25
28	2042	62,92	592,72	372,94	6091,20
29	2043	66,32	588,02	389,99	6481,19
30	2044	69,91	583,35	407,82	6889,00
31	2045	73,69	578,72	426,46	7315,46
32	2046	77,67	574,13	445,95	7761,41
33	2047	81,87	569,57	466,33	8227,75
34	2048	86,30	565,05	487,65	8715,40
35	2049	90,97	560,57	509,94	9225,34